

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 05173102  
PUBLICATION DATE : 13-07-93

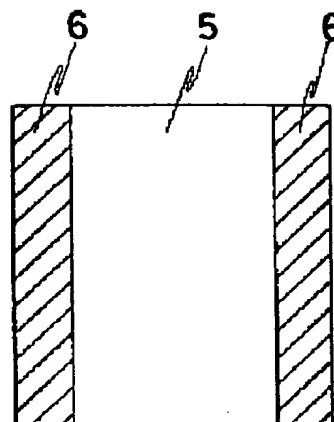
APPLICATION DATE : 26-03-91  
APPLICATION NUMBER : 03087736

APPLICANT : AGENCY OF IND SCIENCE & TECHNOL;

INVENTOR : TOSHIMA HIROAKI;

INT.CL. : G02F 1/09 C30B 29/22 G02B 27/28

TITLE : FARADAY ROTOR



ABSTRACT : PURPOSE: To enable the formation of thicker films and to obtain the Faraday rotor having low light absorption loss by depositing specific crystal films by an ion beam sputtering method on both surfaces of a specific substrate.

CONSTITUTION: Cracks and defects are tend to be generated by strains, etc., by mismatching and the thickness does not increase if the lattice constant difference  $\Delta a$  of the substrate and BiG films increases. Then, the generation of strains and defect is controlled by using a single crystal plate 5 of nonmagnetic garnet having the lattice constant difference  $\Delta a$  within  $\pm 0.03^\circ$ , i.e.,  $12, 60$  to  $12, 66^\circ$  lattice constants. Further, the front and rear surfaces of the substrate 5 are deposited respectively with  $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  films 6 by the ion sputtering method at  $\geq 2.5\mu\text{m}$  which is the thickness of half the thickness to obtain  $45^\circ$  Faraday rotating angle so as to have the structure to decrease the light absorption loss by increasing the thickness of the BiG films as far as possible. The  $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  films 6 are formed of a single crystal or polycrystal.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-173102

(43)公開日 平成5年(1993)7月13日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/09	5 0 1			
C 3 0 B 29/22		D 7821-4 G		
G 0 2 B 27/28		A 9120-2 K		

審査請求 未請求 請求項の数1(全 4 頁)

(21)出願番号 特願平3-87736

(22)出願日 平成3年(1991)3月26日

(71)出願人 000240477

並木精密宝石株式会社

東京都足立区新田3丁目8番22号

(71)出願人 390014535

新技術事業団

東京都千代田区永田町2丁目5番2号

(71)出願人 000001144

工業技術院長

東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

(72)発明者 高橋 勉

東京都足立区新田3丁目8番22号 並木精

密宝石株式会社内

(74)指定代理人 工業技術院電子技術総合研究所長

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ファラデー回転子

(57)【要約】

【目的】 ファラデー効果が大きなBi, Fe, O<sub>12</sub>膜を通常のスパッタ法により成長させる際に、基板と膜の格子定数差により、ミスマッチによる歪などのために二次核生成などの表面欠陥が生じる欠点があるため、厚膜化でき低光吸収損失なる45°ファラデー回転子を得る。

【構成】 格子定数がBi, Fe, O<sub>12</sub>膜の±0.03Å以内である、12.60~12.66Åの範囲にある非磁性ガーネット単結晶基板を用い、イオンビームスパッタ法によりBi, Fe, O<sub>12</sub>を、このガーネット基板表裏にそれぞれ2.5μm以上となるように堆積した600~850nm短波長用の光アイソレータ用ファラデー回転子。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 格子定数が12.60~12.66Åの範囲にある非磁性ガーネット単結晶基板に、イオンビームスパッタ法により $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 単結晶または多結晶膜を、少なくとも片面の厚さが2.5μm以上となるように基板両面に堆積することを特徴としたファラデー回転子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信、光計測、光記録などに用いられる光アイソレータで、特に600~850nmの波長帯で使用される光アイソレータ用ファラデー回転子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光通信、光計測に使用される半導体レーザは、戻り光があるとモードホッピングノイズなどが生じ、安定なレーザ発振ができなくなる。また最近では、光ディスク、光磁気ディスクなどの光記録においても光源として半導体レーザが使用され、戻り光は不具合を生じるために光アイソレータの必要性が高まっている。

【0003】一般に光アイソレータは図2に示すように、偏光子1、検光子2と光の偏波面を45°回転させるファラデー回転子3、そのファラデー回転子3を磁気飽和させるための永久磁石4からなる。そして半導体レーザから発振される順方向の光は通過させ、逆に戻ってくる逆方向の光はファラデー回転子の非相反作用により、順方向での偏波面からさらに45°回転させることにより、偏光子1とクロスニコルの関係となるため、戻り光は遮断される。

【0004】これまで実用化されている光アイソレータは、波長が1310nm、1550nmといった近赤外域でのものが多く、これは光通信用のファイバーなどがその波長において光損失が低く、光通信用として適しているためであることと、ファラデー回転子として使用されるバルクのYIG( $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ )結晶やBi置換YIG(BiYIG)、さらに液相エピタキシャル法(LPE法)により成長させたBi置換ガーネット膜などの光吸収損失もその波長帯で低いことに起因している。

【0005】一方光記録用などの光アイソレータは、記録密度の向上と半導体生産性の容易性から780~850nm帯の波長が用いられている。また最近では半導体レーザの短波長化が進み、波長が670nm付近で発振する可視光半導体レーザが開発され、第2高調波発振(SHG)素子も開発されたため、それに伴いより短波長での光アイソレータの使用が提案されている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら前述したバルクのYIG、BiYIGやLPE法で成長させたBi置換ガーネット膜においては、可視光領域では光吸収損失が大きく(光の透過率が悪い)、光アイソレータ用のファラデー回転子としては使用が難しい。これは使用する

Ptルツボから混入する白金(Pt)や、フラックスとして使用される鉛(Pb)等の不純物による影響で、 $\text{Fe}^{3+}$ などによる吸収が避けられなくなるためと考えられている。また比較的不純物が混入しないフローティングゾーン法(FZ法)で作製したYIGなどの使用も可能ではあるが、ファラデー回転能すなわち単位長さあたり回転する角度( $^{\circ}/\text{cm}$ )が小さく、45°回転するのに必要な光路長が長くなる欠点がある。

【0007】そこでこれらの解決策としてファラデー効果を大きくするため、Bi置換量が多く不純物の混入も少ない気相成長による非平衡な物質 $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ (BiIG)ガーネットが特開平1-93426号公報において提案された。ところがこのBiIG膜を通常のスパッタ法により成長させると、2次核生成などの表面欠陥が生じやすく、厚くすることが難しいため、45°のファラデー回転角を得ることができない。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、BiIG膜の格子定数が12.63Åであることから、基板とBiIG膜の格子定数差 $\Delta a$ が大きくなると、ミスマッチによる歪などにより、クラックや欠陥が発生しやすくなり、厚くならないことを実験的に見出し、 $\Delta a$ を±0.03Å以内すなわち12.60~12.66Åの格子定数をもつ非磁性ガーネット単結晶基板を用いることにより歪や欠陥の発生を制御している。さらにBiIG膜の膜厚は、可能なかぎり薄くし、光吸収損失を低減させる構造となるように基板の表裏に、それぞれBiIG膜で45°ファラデー回転角を得る約半分の厚みである2.5μm以上にイオンビームスパッタ法で堆積させ、BiIG膜を単結晶または多結晶とすることを特徴としている。

【0009】BiIG膜のファラデー回転能は膜形成時の条件により多少変化するが、最もファラデー効果の大きな波長域であり、かつレーザ発振波長である633nmにおいて、最大-90000 $^{\circ}/\text{cm}$ が得られ、実用膜厚に換算すると-9 $^{\circ}/\mu\text{m}$ となる。したがって45°ファラデー回転角の半分である22.5°を得るためには、少なくとも2.5μm以上の膜厚がそれぞれ必要であり、この範囲に限定される。本発明によれば、非磁性ガーネット単結晶基板の格子定数がBiIG膜とほぼ一致するので、ファラデー回転能の大きなBiIG膜を基板の両面に簡単に堆積させることが可能で、600~850nmの波長帯でも45°回転するファラデー回転子が得られ、結果的にその波長帯で光アイソレータの製作が可能となる。

## 【0010】

【実施例1】格子定数が12.63Åのサマリウム・スカンジウム・ガリウム・ガーネット基板(111)上に、 $\text{O}_2$ を反応ガスとしたイオンビームスパッタ法により、 $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 膜を基板の両面に堆積させた。このときのスパッタ条件としては、酸素分圧 $2 \times 10^{-4}$ Torr、基板温度550 $^{\circ}\text{C}$ 、イオン電流密度1.5mA/ $\text{cm}^2$ であった。下記の表に $\lambda =$

633nmにおいて、 $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 膜をイオンビームスパッタ法により堆積させたときの本発明と比較例を示す。 \*

\*【0011】

	基板の 格子定数	膜 厚	膜 質	回 転 角	光 吸 収
本発明	12.63Å	片面 $2.5\mu$ + 片面 $3.5\mu$	良 好	44.8°	4.5dB
比較例	12.495Å	片面 $2.8\mu$ + 片面 $2.9\mu$	表面欠陥	—	—
	12.61Å	片面 $5.8\mu$	クラック 表面欠陥	—	—

【0012】膜厚は上記の表に示したように、片面が $2.5\mu\text{m}$ 、他の片面が $3.5\mu\text{m}$ で、両面を波長633nmの光が通過したときファラデー回転角が44.8°であった。なおこのときのファラデー回転角は、 $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 膜の飽和磁化が1600ガウスであったので、完全に膜が飽和するように2キロガウス以上の磁界をかけて測定した。また光吸収損失は2.5dBであった。

【0013】 $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 膜の格子定数12.63Åと基板の格子定数との差が大きい比較例では、表面欠陥、クラックなどの不具合が生じ、単結晶又は多結晶膜とならないため、当然のことながらファラデー回転角が得られず、※

※光吸収損失も膨大な値となって測定不能であった。

20 【0014】

【実施例2】格子定数が12.64Åのガドリウム・ルテシウム・ガリウム・ガーネット基板{111}上に、実施例1と同様にして波長780nmで45°回転するファラデー回転子を作成した。波長が780nmとすると $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 膜のファラデー回転能は約 $-30000^\circ/\text{cm}$ となるので片面約 $8\mu\text{m}$ ずつを両面に堆積させた。下記の表に $\lambda=780\text{nm}$ において、 $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 膜をイオンビームスパッタ法により堆積させたときの本発明と比較例を示す。

【0015】

	基板の 格子定数	膜 厚	膜 質	回 転 角	光 吸 収
本発明	12.64Å	片面 $8\mu\text{m}$ + 片面 $8\mu\text{m}$	良 好	44.7°	1.7dB
比較例	12.495Å	片面 $8\mu\text{m}$ + 片面 $10\mu\text{m}$	不 良	—	—
	12.161Å	片面 $8\mu\text{m}$ + 片面 $9\mu\text{m}$	不 良	—	—
	12.54Å	片面 $8\mu\text{m}$ + 片面 $8\mu\text{m}$	クラック	42~43°	>10dB

【0016】得られた $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 膜は多結晶膜となったが、

50 ファラデー回転は上記の表に示したように、 $\text{Bi}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$ 膜と

格子定数差が大きい基板を用いると、厚膜化が困難となり、ファラデー回転子が得られなかった。

【0017】

【発明の効果】以上説明したように、本発明を用いることによって堆積制御性のよいイオンビームスパッタ法により、結果的に約45°回転するBiIG膜が得られるので、600～850nmの波長帯でのファラデー回転子が可能となる。

【図面の簡単な説明】

\*【図1】本発明の45°ファラデー回転子の構成図。

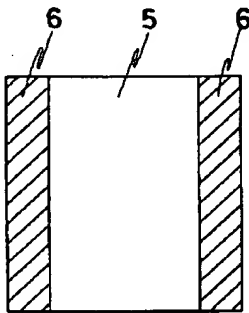
【図2】光アイソレータの構成図。

【符号の説明】

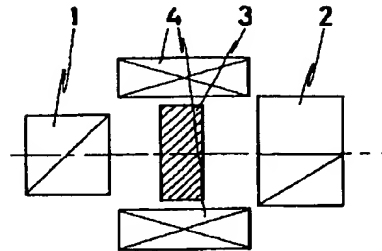
- 1 偏光子
- 2 検光子
- 3 ファラデー回転子
- 4 永久磁石
- 5 非磁性ガーネット基板
- 6 Bi<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub>膜

\*

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 戸嶋 博昭

東京都足立区新田3丁目8番22号 並木精  
密宝石株式会社内